

3. NATUR UND LANDSCHAFT

3.1 Klima und Vegetation

3.1.1 Dendroklimatologische Beiträge zur Klimageschichte

(Ulf Büntgen und Willy Tegel)

Um Klimabedingungen vor dem Zeitraum instrumenteller Wetterdatenmessungen, also der letzten rund 150 Jahre, zu verstehen, bedarf es indirekter Aufzeichnungen. Dies geschieht mit Hilfe von so genannten Proxy-Daten. Hierbei handelt es sich um Klimazeiger oder -zeugen; Archive, welche Rückschlüsse auf vergangene Zustände der Atmosphäre und des Klimas zulassen. Unterschieden wird zwischen natürlichen und gesellschaftlich-kulturellen Proxy-Daten (Brazdil et al. 2005; Pfister et al. 2009). Zu der ersten Gruppe zählen organische Quellen wie Jahrringe von Bäumen, Tier- und Pflanzenreste, Pollen und Torfbildungen. Dazu kommen nicht-organische Befunde wie Isotopenverhältnisse aus Eisbohrkernen, Seesedimenten und Gletscherständen. Gesellschaftliche Archive bestehen aus Daten historischer Quellen, wie z. B. Chroniken, Tagebücher, kommunale Register, Logbücher oder Reiseberichte.

Die aus Proxy-Daten gewonnenen Zeitreihen (Serien über einen definierten Zeitraum verteilter Werte) können bei signifikanten Korrelationen mit instrumentellen Klimamessungen der Moderne geeicht (kalibriert) werden. So entstehen dimensionslose Indizes (z. B. Jahrringbreiten, historische Aufzeichnungen, Eisbohrkerne) die in Grad Celsius oder Millimeter Niederschlag transformiert werden. Diese Daten bilden heute einen wesentlichen Beitrag zur Rekonstruktion vergangener Temperatur- und Niederschlagsvariabilität (IPCC 2007).

Auch wenn die hier angeführte Auflistung der existierenden Proxy-Archive auf den ersten Blick als durchaus solide erscheinen mag, stellt ihre exakte Auswertung und raumzeitliche Verteilung in der wissenschaftlichen Praxis noch immer eine grosse Herausforderung dar. Wir verfügen über zu wenig klimarelevante Informationen, die zeitlich hoch aufgelöst und präzise datiert einen einzigen Klimaparameter widerspiegeln, räumlich gut verteilt sind und gleichzeitig weit genug in die Vergangenheit zurück reichen. Umfangreiche multidisziplinäre Projekte (z. B. das NCCR Climate oder das EU Projekt Millennium) unter Einbeziehung verschiedenster hochauflösender Daten fokussierten bisher auf die Rekonstruktion der letzten rund 1000 Jahre.

Da inter- und intra-annuelle Jahrringparameter wie Jahrringbreite, holzanatomische Merkmale und Holzdicke zeitlich und räumlich hoch aufgelöst, jahrgenau datierbare Informationen liefern, haben sie sich als Proxy-Daten für Klimarekonstruktionen vielfach bewährt und bilden heute die primäre Grundlage für die hochaufgelöste Paläoklimatologie der letzten Jahrhunderte bis Jahrtausende (IPCC 2007).

Dendroklimatologische Untersuchungen für die letzten 1000-

3. NATURE ET PAYSAGE

3.1 Climat et végétation

3.1.1 Contributions de la dendro-climatologie à l'histoire du climat

(Ulf Büntgen et Willy Tegel)

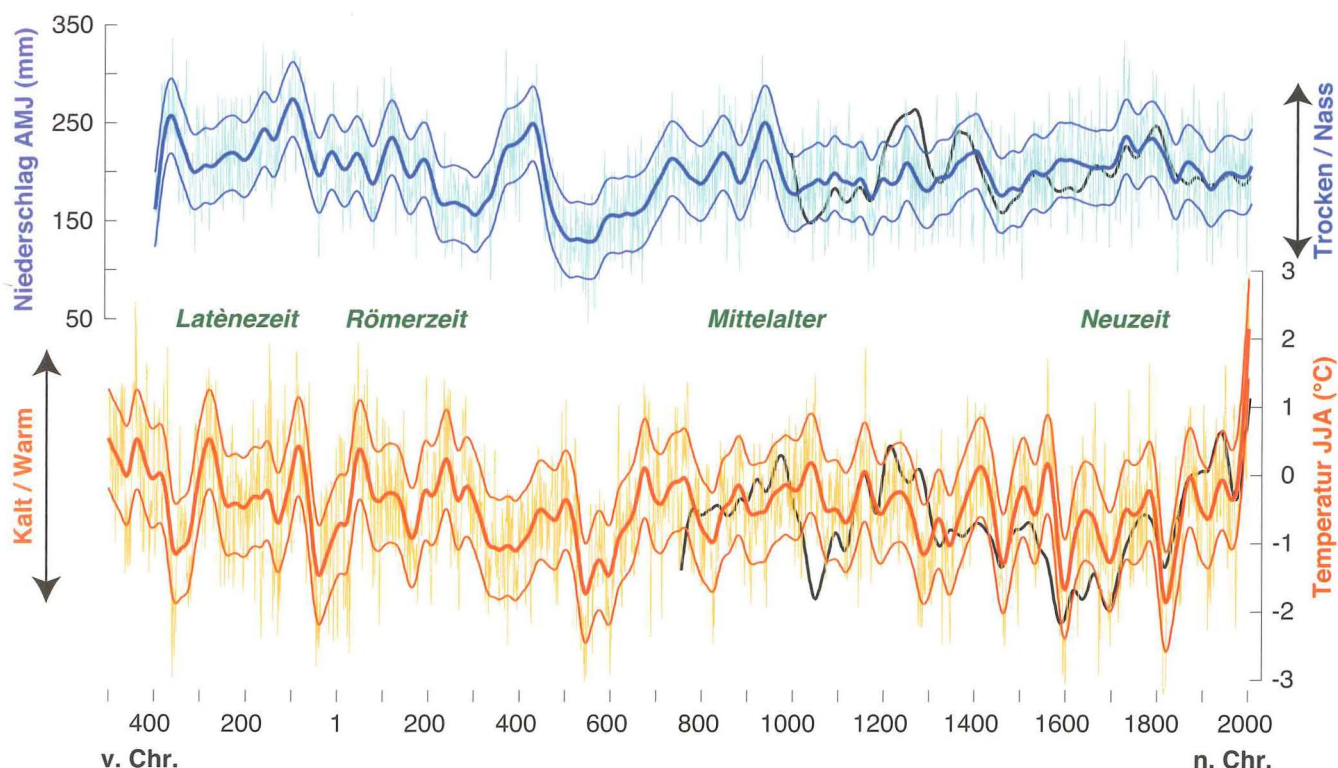
On ne mesure les données météorologiques avec des instruments que depuis près de 150 ans. Pour savoir quelles étaient les conditions climatiques avant cette innovation, on a recours à des enregistrements indirects : ces données, appelées « proxiséries », se constituent d'indicateurs ou de témoins climatiques. Telles des archives, elles permettent de déduire quelles furent par le passé les différents états l'atmosphère et du climat. On distingue les proxiséries d'origine naturelle de celles dont la genèse est d'ordre socioculturel (Brazdil et al. 2005 ; Pfister et al. 2009). Dans le premier groupe, on compte les sources organiques comme les cernes des arbres, les vestiges animaux ou végétaux, les pollens ou la formation de tourbe. S'y ajoutent les éléments non organiques, comme les rapports isotopiques dans les carottes de glace, les sédiments lacustres ou les états glaciaires. Dans les archives sociales, on trouve des données issues de sources historiques comme des chroniques, des carnets de notes, des registres communaux, des journaux de bord ou des récits de voyage.

Les séries chronologiques découlant de proxiséries (séries de valeurs réparties sur un laps de temps défini) peuvent être calibrées lors de corrélations significatives avec des mesures climatiques modernes, réalisées par des instruments. On obtient ainsi des indices sans dimension (p.ex. largeur de cernes, documents historiques, carottes de glace) qui peuvent être retranscrits en degrés Celsius ou en millimètres de précipitations. Aujourd'hui, ces données constituent une contribution primordiale à la reconstitution des températures et des variations de précipitations par le passé (IPCC 2007). Au premier regard, ces archives indirectes peuvent sembler solides. Dans la pratique scientifique, leur évaluation exacte et leur distribution chronologique constitue toutefois encore un véritable défi. Nous ne disposons que de fort peu d'informations pertinentes sur le plan climatique, qui impliquent une haute résolution chronologique associée à une datation précise, ne reflétant qu'un seul paramètre climatique, bien réparties spatialement tout en étant suffisamment reculées dans le temps. Des projets pluridisciplinaires de grande envergure (p.ex. NCCR Climate ou le projet Millennium de l'UE), associant les données les plus diverses en haute résolution, se concentrent à ce jour essentiellement sur la reconstitution du dernier millénaire.

Les paramètres inter-annuels et intra-annuels des cernes des arbres tels que leur largeur, les caractéristiques anatomiques du bois et sa densité, fournissent des informations datables à l'année près, dont la résolution est élevée tant sur le plan

2000 Jahre in Mitteleuropa konzentrierten sich bisher auf Temperaturrekonstruktionen basierend auf Nadelholzarten der Hochlagen in den Alpen (Büntgen et al. 2005; 2006b; 2009; 2011). Etwas kürzere Abschnitte von Temperaturrekonstruktionen gibt es für die Karpaten (Büntgen et al. 2007) und die Pyrenäen (Büntgen et al. 2008a; 2010a). Die dort untersuchten Waldgrenzstandorte gewährleisteten, dass der primär limitierende Faktor für den jährlichen Zuwachs Temperaturschwankungen während der Hauptwachstumsperiode (Juni–August) sind. Dies führt zu einem identifizierbaren Temperatursignal sowohl in der Jahrringbreite als auch in der maximalen Spätholzdichte. Der Radialzuwachs von Laubbaumarten der Tief- und Mittelgebirgslagen ist hingegen durch das Zusammenspiel unterschiedlicher Klimafaktoren und Waldnutzungsformen gesteuert, wobei Niederschlagsmengen und Verteilungen im Frühjahr (April–Juni) das Waldwachstum dominieren (Friedrichs et al. 2009a,b). Bisher dienten primär Eichen für die Rekonstruktion mitteleuropäischer Niederschläge (Büntgen et al. 2010b,c). Neben den Holzfunden aus natürlichen Ablagerungen in Gletschervorfeldern (Lärchen und Fichten) und Flusskiesen (Eichen) stehen Bauhölzer historischer Gebäude und archäologischer Befunde (Büntgen et al. 2011) für die Untersuchungen zur Verfügung – sie machen sogar den grössten Anteil des Materials aus. Als ergiebige Holzquelle erwiesen sich zudem die Gebäude der Hochtäler in den Alpen (Büntgen et al. 2006a). Die grosse Anzahl von Blockbaukonstruktionen im Lötschental (Ferden VS, alle dendrodatiert: «Brigischir», 1299, mit Aufstockungen von 1514 und 1590, «Rotigo Schtadl», 1302, Stallscheune «Obers Dorf», 1303/04) und jene am Simplon-Pass (Simplon-Dorf, Stallscheune dendrodatiert Dorsaz, 1199/1200), ermöglichten allein den Aufbau einer Jahrringchronologie, die bis in das 8. Jh. (755–2004 n. Chr.) zurück reicht (Büntgen et al. 2005; 2006b). Inzwischen besteht ein umfangreiches Netzwerk aus hunderten von lokalen bis regionalen Lärchen- und Fichten-Chronologien mit tausenden von Jahrringserien, verteilt über die letzten rund 1000 Jahre, repräsentativ für grosse Teile des Alpenbogens (Büntgen et al. 2008b; 2009). Die wenigen Jahrringserien der ältesten erhaltenen Holzkonstruktionen aus Gebäuden reichen, mit Ausnahme der Lärchen aus Simplon-Dorf, maximal bis in das Ende des 10. Jh. zurück. Dementsprechend niedrig ist die Belegung für den Beginn des Hochmittelalters. Für den Ausbau der Chronologien können zwar archäologische oder subfossile Hölzer genutzt werden, aber es handelt sich hierbei um Zufallsfunde, die aus vergleichsweise wenigen Regionen vorliegen. Nadelhölzer stammen in erster Linie aus den Gletschergebieten im Wallis und im Tirol. Eichen wurden in früheren Zeiten vorzugsweise als Bauholz in feuchtem Milieu verwendet und werden regelmässig bei archäologischen Ausgrabungen geborgen. Dennoch ist festzustellen, dass insbesondere für das ausgehende Frühmittelalter, die Merowingerzeit und die Spätantike die Belegung in den Chronologien in ganz Mitteleuropa abnimmt. Die Eichen-Chronologien der Schweiz weisen für diese Zeiten sogar Lücken auf. Die intensiven Baumassnahmen der Römer hinterliessen im Gegensatz dazu grosse Mengen an Bauholz (Etter et al. 1991; Benguerel et al. 2011; Büntgen et al. 2011).

chronologique que sur le plan spatial ; ces éléments ont donc fait leurs preuves en tant que proxiséries pour la restitution du climat. Aujourd'hui, ils constituent le fondement principal de la paléoclimatologie à haute résolution pour les siècles derniers, voire pour les derniers millénaires (IPCC 2007). Jusqu'à aujourd'hui, l'analyse dendroclimatologique des derniers 1000 à 2000 ans en Europe centrale se concentrait sur la reconstitution des températures, en se basant dans les Alpes sur les résineux de haute altitude (Büntgen et al. 2005 ; 2006b ; 2009 ; 2011). Pour les Carpates (Büntgen et al. 2007) et pour les Pyrénées (Büntgen et al. 2008a ; 2010a), les séquences de reconstitutions des températures sont un peu plus brèves. Les lignes de limite forestière qu'on y a examinées garantissent que le facteur agissant de manière primaire sur la limitation de la croissance annuelle correspond bien à des variations de température pendant la principale période de croissance (juin à août). Ce phénomène conduit à un signal de température repérable tant dans la largeur des cernes que dans la densité maximale du bois final. La croissance radiale des feuillus de basse et de moyenne montagne est par contre déterminée par l'interaction de divers facteurs climatiques et par certaines formes d'exploitation, avec une croissance forestière dominée par les quantités de précipitation et leur distribution au printemps (avril à juin ; Friedrichs et al. 2009a,b). Jusqu'à présent, c'est en premier lieu le chêne qui a été utilisé pour reconstituer les précipitations d'Europe centrale (Büntgen et al. 2010b,c). Outre les bois naturellement déposés dans la marge proglaciaire (mélèzes et épicéa) et dans les graviers de rivière (chênes), on dispose de bois de construction issus de bâtiments historiques et de structures archéologiques (Büntgen et al. 2011), qui constituent même la majeure partie du matériel. Par ailleurs, les édifices des hautes vallées alpines fournissent des bois en abondance (Büntgen et al. 2006a). Le grand nombre de constructions en « blockbau » dans le Lötschental (Ferden VS, tous dendrodatés : « Brigischir », 1299, avec surélévations de 1514 et 1590, « Rotigo Schtadl », 1302, grange-étable « Obers Dorf », 1303/04) et deux du col du Simplon (Simplon-village, grange-étable dendrodatée Dorsaz, 1199/1200), a suffi à lui seul à établir une chronologie des cernes du bois remontant jusqu'au 8^e siècle (755–2004 apr. J.-C. ; Büntgen et al. 2005 ; 2006b). Entretemps, on a pu constituer un large réseau d'ordre local à régional comptant, pour le mélèze et l'épicéa, des centaines de chronologies et des milliers de séries de cernes réparties sur le dernier millénaire environ. Cette courbe a une valeur représentative pour une grande partie de l'arc alpin (Büntgen et al. 2008b ; 2009). Les rares séries de cernes provenant des plus anciennes constructions en bois encore conservées remontent, à l'exception des mélèzes de Simplon-Village, tout au plus à la fin du 10^e siècle. Pour le Moyen-Âge tardif, les données sont donc relativement faibles. En vue du développement des chronologies, on peut certes avoir recours à des bois archéologiques ou subfossiles, mais il s'agit toujours de trouvailles fortuites issues de quelques régions seulement. Les résineux proviennent en premier lieu des glaciers du Valais et du Tyrol. Autrefois, pour construire en milieu humide, on choisissait le chêne, et on en retrouve régulièrement lors des



17

Dendroklimatologische Rekonstruktion der Frühjahrsniederschläge (blau) und der Sommertemperaturen (rot) der letzten 2500 Jahre in Mitteleuropa. AMJ = April/Mai/Juni; JJA = Juni/Juli/August

Reconstitution dendroclimatologique des précipitations printanières (en haut/bleu) et des températures estivales (en bas/rouge) des derniers 2500 ans en Europe de l'Ouest et centrale. AMJ = avril/mai/juin ; JJA = juin/juillet/août.

Ricostruzione dendroclimatologica delle precipitazioni primaverili (sopra/blù) e delle temperature estive (sotto/rosso) nell'Europa centrale durante gli ultimi 2500 anni. AMJ = aprile/maggio/giugno; JJA = giugno/luglio/agosto

Büntgen et al. 2011, 582 Abb. 4.

Systematische Präventivarchäologie in Frankreich und in einigen Bundesländern in Deutschland führte in den letzten Jahren zu einer erheblichen Verbesserung der dendrochronologischen Datenlage (Crousch et al. 2011; Tegel/Peytreman 2011). Beispielsweise werden in den Regionen Lothringen und Champagne-Ardenne im Rahmen von Baumassnahmen jährlich rund 2000 Hektar mit hunderten von archäologischen Fundstellen ausgegraben (Tegel/Vanmoerkerke 2011). Der Einsatz von schweren Maschinen ermöglichte es, dort auch tiefgelegene, im Grundwasserspiegel konservierte Holzkonstruktionen (Brunnen, Pfahlsetzungen usw.) relativ einfach zu bergen und für dendrochronologische Analysen zu sichern. Heute liegen tausende von Jahringmessungen für unterschiedliche Regionen in Mitteleuropa vor. Dendroklimatologische Rekonstruktionen von Schwankungen der (Sommer-)Temperatur und (Frühjahrs-)Niederschlägen in Mitteleuropa liegen inzwischen für die letzten 2500 Jahre vor (Abb. 17; Büntgen et al. 2011). Nach stabilem, warmem Klima in der Römerzeit und einem Abkühlungstrend mit stärkeren Schwankungen der Niederschläge ab dem 4. Jh. erreichten Frühjahrsniederschläge und Sommertemperaturen zu Beginn des 8. Jh. wieder ein Niveau wie zur Römerzeit. Die darauffolgenden 600 Jahre vom Beginn des 8. Jh. bis

fouilles archéologiques. Cependant, force est de relever que, plus particulièrement pour la fin du haut Moyen-Âge, pour l'époque Mérovingienne et pour le bas Empire, la densité diminue dans toute l'Europe centrale. Pour ces époques, on dénote même des lacunes dans les chronologies du chêne en Suisse. Par contre, les Romains ayant été de fervents constructeurs, on dispose pour cette époque de grandes quantités de bois de construction (Etter et al. 1991 ; Benguerel et al. 2011 ; Büntgen et al. 2011). Au cours des dernières années, l'application systématique en archéologie de mesures préventives en France et dans quelques Länder allemands a conduit à une nette amélioration de la disponibilité des données (Crousch et al. 2011 ; Tegel/Peytreman 2011). En Lorraine et en Champagne-Ardenne par exemple, dans le cadre de chantiers de construction, on fouille près de 200 hectares chaque année, révélant ainsi des centaines de sites archéologiques (Tegel/Vanmoerkerke 2011). L'utilisation de grosses machines de chantier permet de prélever relativement aisément des constructions en bois conservées dans la nappe phréatique (puits, pieux, etc.), et de les conserver en vue d'analyses dendrochronologiques. Aujourd'hui, on dispose de milliers de mesures de cernes pour les régions d'Europe centrale les plus variées.

zum 14. Jh. werden gemeinhin als «Mittelalterliches Klimaoptimum» bezeichnet. Mit Ausnahme relativ hoher Frühjahrsregensmengen im 10. Jh. ist diese Phase warm, ohne stärkere Niederschlagsschwankungen und auf einem ähnlichen Niveau wie in den letzten 100 Jahren (Büntgen/Tegel 2011). Die sich daran anschliessende, mehrhundertjährige Periode durchschnittlich tieferer Temperaturen und mit hoher Klimavariabilität von 1300 bis 1850 n. Chr. ist als «Kleine Eiszeit» bekannt. Abgelöst wird sie durch den Erwärmungstrend während der letzten etwa 150 Jahre. Auch wenn diese Grobgliederung von «Mittelalterliches Klimaoptimum», «Kleine Eiszeit» und in den aktuellen Temperaturanstieg im Detail noch kontrovers diskutiert wird, darf sie als richtig gelten, denn sie wurde wiederholt und von unabhängigen Untersuchungen unter Berücksichtigung verschiedenster Proxy-Archive bestätigt. Ausmass, räumliche Verbreitung sowie das genaue zeitliche Auftreten der geschilderten langfristigen Klimaschwankungen sind wohl am wenigsten verstanden und stellen somit die aktuelle Forschungsfront dar (Esper/Frank 2009). Allgemein wird das «Mittelalterliche Klimaoptimum» mit einer Erhöhung der durchschnittlichen Temperaturen auf ein Niveau vergleichbar jenem des 20. Jh. verbunden. Im gleichen Zeitabschnitt hat sich beispielsweise der Weinbau in Gebiete weiter nördlich bis England ausgedehnt und die thermisch bedingte Waldgrenze leicht nach oben (alpine Waldgrenze), respektive Norden (boreale Waldgrenze) verschoben (Lamb 1965). Demgegenüber war die «Kleine Eiszeit» speziell in den Alpen durch sich ausdehnende Gletscherflächen charakterisiert (Holzhauser et al. 2005). Es traten teilweise extrem kalte Sommer auf, die Winter waren generell frostreicher und gelegentlich schneereicher als heute und das Zufrieren von Gewässern im Alpenvorland trat regelmässig ein (Pfister 1999). Der weitgehend durch instrumentelle Messreihen belegte und in den Jahrringen aufgezeichnete Erwärmungstrend der letzten rund zwei Jahrhunderte gipfelt schliesslich im zentraleuropäischen Rekordsommer von 2003 (Schär et al. 2004), dessen Temperaturen als die höchsten innerhalb der letzten 2500 Jahre gelten dürfen (Büntgen et al. 2011).

Ausblickend sei auf die immer noch zu dünne Datengrundlage, besonders in der Spätantike und dem ausgehenden Frühmittelalter, hingewiesen. Für das beständige Auffüllen dieser Engpässe und den Ausbau der Chronologien in die prähistorische Zeit ist die Zusammenarbeit mit archäologischen Diensten und der Denkmalpflege aus dendroklimatologischer Sicht unabdingbar. Daneben sollte eine methodische Verbesserung des Erkennens und Modellierens der innerhalb der Jahrringe gespeicherten Klimainformationen stehen.

Neben Jahrringdaten, die mehrheitlich sommerliche Klimabedingungen widerspiegeln, sollten weitere Proxy-Archive besser erschlossen werden, welche Klimainformationen zu den verschiedensten Jahreszeiten in zeitlich hoher Auflösung liefern. Hierzu können Informationen aus schriftlichen Aufzeichnungen, auch aus dem Alpenraum (z. B. Pfister 1999; Zenhäusern 2008) einen grossen Beitrag leisten. Diese Textquellen sind einmalig und beinhalten häufig Beschreibungen von Wetterextremen wie Hitzewellen, Überschwemmungen,

Pour l'Europe centrale, les reconstructions de fluctuations de températures (estivales) et de précipitations (printanières) sur la base de la dendroclimatologie permettent de remonter à présent à 2500 ans (fig. 17 ; Büntgen et al. 2011). Après un climat chaud et constant à l'époque romaine, une tendance au refroidissement et de plus importantes fluctuations dans les précipitations dès le 4^e siècle, les précipitations printanières et les températures estivales atteignirent au début du 8^e siècle un niveau identique à celui de l'époque romaine. Les six siècles qui suivirent, du début du 8^e siècle au 14^e siècle, sont appelées communément « optimum climatique médiéval ». À l'exception d'une quantité relativement élevée de précipitations printanières au 10^e siècle, cette phase est chaude et ne présente guère de fluctuations importantes pour les précipitations, qui correspondent à un niveau comparable à celui des 100 dernières années (Büntgen/Tegel 2011). Pour plusieurs siècles s'installera ensuite une période aux températures moyennes plus basses, avec une importante variabilité climatique, qui durera de 1300–1850 apr. J.-C., connue sous le terme de « petit âge glaciaire ». Une tendance au réchauffement lui succèdera il y a 150 ans environ. Même si les discussions touchant à cette grossière subdivision entre « optimum climatique médiéval », « petit âge glaciaire » et la tendance actuelle au réchauffement ne sont pas encore closes, elle peut être considérée comme correcte : elle a en effet pu être confirmée de manière récurrente et lors d'analyses indépendantes, en tenant compte des proxiséries fournies par les archives les plus diverses. L'ampleur, la répartition spatiale et l'apparition chronologique précise des variations climatiques à long terme sont les éléments les moins bien compris, constituant l'avant-garde de la recherche dans ce domaine (Esper/Frank 2009). Globalement, l'« optimum climatique médiéval » est considéré comme une augmentation moyenne des températures, atteignant un niveau comparable à celles du 20^e siècle. Durant cette période en effet, la viticulture s'est étendue bien plus au nord, jusqu'en Angleterre, et la limite supérieure de la forêt est remontée (limite altitudinale de la forêt alpine) ou s'est déplacée vers le nord (limite nord de la forêt boréale ; Lamb 1965). Le « petit âge glaciaire » par contre se caractérise, plus particulièrement dans les Alpes, par une extension des zones glacées (Holzhauser et al. 2005). Il y eut des étés extrêmement froids, avec des hivers aux températures généralement plus fréquemment inférieures à zéro degré qu'aujourd'hui, et parfois davantage de neige ; les cours d'eau des zones préalpines gelaient régulièrement (Pfister 1999). La tendance au réchauffement que l'ont décèle essentiellement grâce à des séries de mesures par instruments, visible aussi dans les cernes du bois, débuta voilà 200 ans ; en Europe centrale, elle atteint son point culminant avec l'été record de 2003 (Schär et al. 2004), dont les températures peuvent être considérées comme les plus élevées des dernières 2500 années (Büntgen et al. 2011).

On signalera encore que la base de données est pour l'instant trop faible, plus particulièrement pour le bas Empire et la fin du haut Moyen-Âge. Afin de peu à peu combler ces lacunes et d'étendre les chronologies aux époques préhistoriques, il est indispensable, d'un point de vue dendroclimatique, de collaborer avec les services archéologiques et ceux des mo-

Stürmen, Starkschneefällen, Lawinen usw., welche vor allem für die Gesellschaft grosse Relevanz hatten. Jeder Proxy hat seine Vor- und Nachteile in Bezug auf das Verständnis des vergangenen Klimas. Synthesen unterschiedlicher Reihen können Rekonstruktionen deutlich verbessern und Unsicherheiten verringern.

3.1.2 Umwelt- und Nutzungsgeschichte im Spiegel der Paläoökologie

(Erika Gobet und Willy Tinner)

Seit Jahrtausenden veränderten Menschen ihre Umwelt, direkt, etwa durch landwirtschaftliche Tätigkeiten, oder indirekt, durch Veränderungen der atmosphärischen Zusammensetzung und der biogeochemischen Zyklen. Der andauernde menschliche Einfluss führte in vielen Landökosystemen zur Entwicklung komplexer Verbindungen zwischen Mensch und Natur. Um die Rolle des Menschen und des Klimas auf Landökosysteme zu verstehen und zu entwirren, sind paläoökologische Untersuchungen an Seesedimenten und Mooren eine vielversprechende Methode. Sie setzen aber zeitlich und taxonomisch hochaufgelöste Multiproxy-Studien (z. B. Pollen-, Sporen-, Kieselalgen-, Zuckmücken- und Holzkohleanalysen) an geschichteten Sedimenten voraus.

Die Zeit von der Spätantike bis ins Mittelalter ist besonders geeignet, um die Wechselwirkungen Mensch-Klima-Umwelt zu untersuchen. Einerseits wurde die Umwelt bereits zuvor durch viele tausend Jahre menschliche Landnutzung verändert, andererseits zeichnen sich lokal bis regional deutliche Landschaftsveränderungen ab: Nach einem starken Einbruch der landwirtschaftlichen Tätigkeit in den Wirren der Völkerwanderungszeit, in der die damaligen politischen und wirtschaftlichen Systeme in West-, Mittel- und Südeuropa kollabierten, erholte sich die Landnutzung im aufblühenden Frankenreich der Merowinger und noch deutlicher der Karolinger. Im 12./13. Jh. kam es zu einer Phase intensiver Städtegründungen (Kap. 4.2). Für diese Zeit stehen auch dendroklimatische Rekonstruktionen zur Verfügung, welche Niederschlag und Temperatur entkoppeln können (Büntgen et al. 2011). Am Beispiel von paläoökologischen Resultaten (Pollen, Sporen, Holzkohle) aus dem Lauerzersee diskutieren wir die Umweltveränderungen vom 5. bis ins 14. Jh. exemplarisch. Es ist zurzeit die beste vorhandene Sequenz aus dem Schweizer Mittelland und für diese Region repräsentativ.

3.1.2.1 Tieflagen der Schweiz

Der Lauerzersee, im Kanton Schwyz auf 447 m ü. M. gelegen, hat eine Profilkolonne geliefert, welche die Veränderungen über die Jahrhunderte abbildet. Der Vergleich mit den Resultaten aus anderen Untersuchungen erlaubt es, die Vegetationsdynamik nördlich und südlich der Alpen nachzuzeichnen.

Aus den Ablagerungen des Lauerzersees wurde der Bohrkern LZ04-1 geborgen (Bussmann/Anselmetti 2010). Die einzelnen Abschnitte wurden uns freundlicherweise für palyno-

numents historischen. Parallelément, il faudra améliorer les méthodes permettant de reconnaître et de modéliser les informations climatiques contenues dans les cernes du bois.

Outre les données fournies par les cernes du bois, qui reflètent essentiellement les conditions climatiques estivales, il faudra mieux tirer partie d'autres archives proxi, pouvant fournir des informations climatiques sur les saisons les plus diverses avec une bonne résolution chronologique. Les données écrites concernant aussi l'arc alpin (p. ex. Pfister 1999 ; Zenhäusern 2008) pourraient y contribuer largement. Ces sources sont exceptionnelles et recèlent fréquemment des descriptions de conditions météorologiques extrêmes, comme des vagues de chaleur, des inondations, des tempêtes, des chutes de neige abondantes, des avalanches, etc., événements ayant une grande empreinte sur la société. Chaque proxi comprend des avantages et des inconvénients en ce qui concerne la compréhension du climat du passé. Les synthèses de diverses séries peuvent permettre d'améliorer les reconstructions de manière significative et de réduire les incertitudes.

3.1.2 Histoire de l'environnement et de son exploitation sous l'angle de la paléoécologie

(Erika Gobet et Willy Tinner)

Les hommes modifient leur environnement depuis des millénaires, que ce soit de manière directe, par exemple par la pratique de l'agriculture, ou de manière indirecte en influençant la composition de l'atmosphère et les cycles biogéochimiques. Pour de nombreux écosystèmes terrestres, l'influence anthropique à laquelle ils sont soumis en permanence débouche sur le développement de liens complexes entre l'homme et la nature. Pour comprendre le rôle de l'homme et du climat dans les écosystèmes terrestres et pour faire face à sa complexité, on place de grands espoirs dans l'analyse paléoécologique des sédiments des lacs et des marais. Ces méthodes impliquent cependant des études multiproxy à haute résolution tant sur le plan temporel qu'au niveau des taxons (p. ex. analyses de pollen, spores, diatomées, chironomides et des charbons de bois issus de sédiments stratifiés).

La période qui s'étend du bas Empire au Moyen-Âge se prête particulièrement bien à l'étude des interactions entre l'homme, le climat et l'environnement. En effet, à ce moment, l'environnement a déjà subi les conséquences de millénaires d'exploitation humaine du territoire ; par ailleurs, on décèle de nettes transformations du paysage, de portées locales à régionales : après un fléchissement important des activités agricoles dans le contexte des troubles liés aux grandes invasions, au cours desquelles les systèmes politiques et économiques d'Europe occidentale, centrale et méridionale s'écroulèrent, l'exploitation du territoire allait se rétablir durant l'épanouissement du Royaume des Francs à l'époque mérovingienne, et plus encore à l'époque carolingienne. Au cours du 12^e/13^e siècle, on assiste à une phase intense de fondation de villes (chap. 4.2). Pour cette époque, on dispose également de reconstructions dendroklimatiques en mesure

logische Untersuchungen von Flavio Anselmetti zur Verfügung gestellt. Die Pollenkonzentrationen waren trotz doppeltem Probevolumen niedrig und die Pollensummen daher eher tief. Die ca. 10 m lange Sedimentreihe umfasst die letzten 2000 Jahre und dokumentiert u. a. zwei Bergsturzereignisse (ca. 165 cm und 590 cm Tiefe, Abb. 18). Der jüngere entspricht dem Bergsturz von Goldau von 1806, welcher eine Datierung der jüngeren Sedimente erlaubt (Bussmann/Anselmetti 2010; Gobet/Tinner 2012).

Die radiokarbondatierten palynologischen Daten (Pollen, Sporen, Holzkohle und andere mikroskopische Reste) zeigen, dass sich die Wälder nach einer Phase intensiver Landwirtschaft (bis 400 n. Chr.) zwischen 500 und 600 n. Chr. erholten und ausbreiteten (Zone LZ-1), höchstwahrscheinlich infolge der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Wirren während der Völkerwanderungszeit und des damit verbundenen Nutzungsrückgangs. Erst um 700 n. Chr. erreichte die anhand der Pollen und Sporen der Nutzpflanzen und Kulturbegleiter geschätzte Nutzungsintensität wieder spätantike Werte (Tinner et al. 2003; 2005; 2012). Ab diesem Zeitpunkt zeigen die dendroökologischen Ergebnisse klimatisch günstige Verhältnisse an, die Temperaturen waren anhaltend höher als in den fünf Jahrhunderten davor (Kap. 3.1.1; Büntgen 2011) – eine Warmphase, die auch in anderen Klimaproxys sehr klar abgebildet ist (z. B. Gletscherschwankungen, Sauerstoffisotope: Tinner et al. 2003; 2005; Tinner 2012). Unsere Daten deuten darauf hin, dass eine starke und kontinuierliche Zunahme der Landnutzung und vermutlich ein Anstieg der Bevölkerungsdichte über römisches Niveau erst um 800 n. Chr., also in der Karolingerzeit einsetzte.

Sedimenteigenschaften in der kurzzeitigen Zone LZ-2 (595–577 cm, 800–830 n. Chr.) und ein starker Anstieg des Baumpollens deuten darauf hin, dass sich hier die Folgen eines Bergsturzes abbilden (Bussmann 2006; Bussmann/Anselmetti 2010). Die starken Hinweise auf eine landwirtschaftliche Blüte nach 800 n. Chr. (LZ-3, 830–1530 n. Chr.) bezeugen, dass sich die Region sehr schnell vom katastrophalen Naturereignis erholte. Die höchsten Konzentrationen der mikroskopisch kleinen Holzkohlepartikel im untersuchten Abschnitt weisen auf eine Zunahme der regionalen Feuer im Umkreis von 20–50 km (Tinner et al. 1998; 2000) um den See hin. Vermutlich wurden sie zur grossräumigen Öffnung der Wälder und Heiden und zu landwirtschaftlichen Zwecken (Feldbewirtschaftung) eingesetzt. Die markante Zunahme der Landnutzung nach 800 n. Chr. setzte sich bis ca. 1100 n. Chr. fort, wie die ansteigenden Werte der Kräuter (Spitzwegerich, Gräser und Getreide) in der Zone LZ-3 zeigen. Auch der Anbau von Hanf lässt sich ab ca. 800 n. Chr. mittels Pollenfunden nachweisen. Um 1150 n. Chr. sinken die Baumpollenwerte auf unter 40 %. Die Landschaft war damit wohl etwa gleich offen wie um 1950 n. Chr., vor der Wiederbewaldung der letzten Jahrzehnte (Zone LZ-4). Die Weisstanne verschwand um 1150 n. Chr. fast vollständig aus der Region des Schwyzer Talkessels. Sie ist besonders störungsempfindlich (Waldweide, Wildverbiss, Brände) und war neben der Fichte ein beliebtes Bauholz, wie die Analyse von mittelalterlichen Häusern im Kanton Schwyz ergab (Descœudres 2007). In anderen Gegenden, insbesondere im höheren Mit-

de decoupler les précipitations des températures (Büntgen et al. 2011). En se basant sur les résultats paléoécologiques (pollen, spores, charbons de bois) fournis par le Lauerzersee, on présente en guise de modèle les modifications environnementales survenues entre le 5^e et le 14^e siècle. À ce jour, il s'agit de la meilleure séquence dont on dispose pour le Plateau suisse ; elle est représentative de cette région.

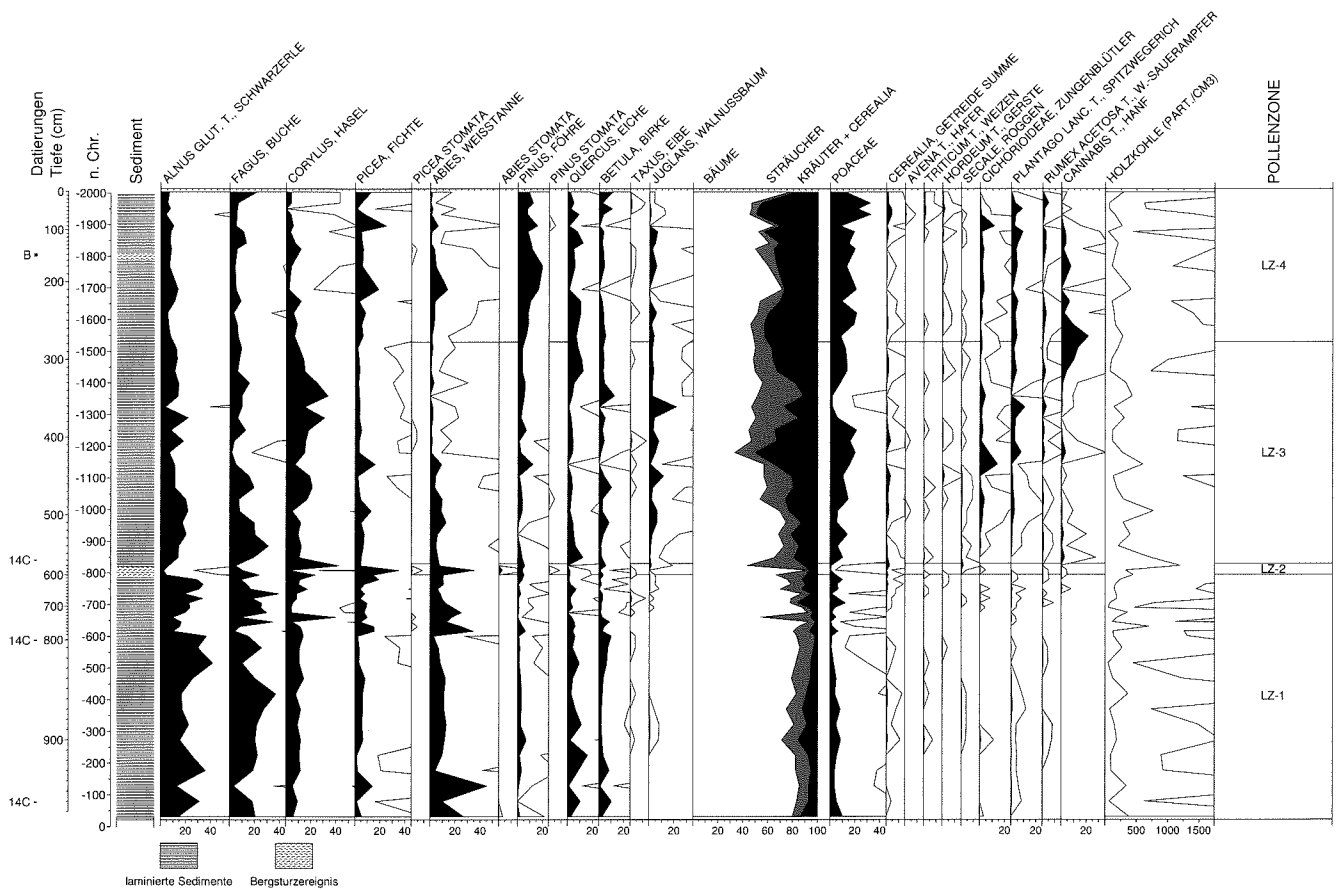
3.1.2.1 Les zones basses de la Suisse

Le Lauerzersee, lac situé à 447 m d'altitude dans le canton de Schwyz, a livré une colonne sédimentaire faisant figure de modèle pour les modifications intervenues au cours des siècles. En la comparant aux résultats fournis par d'autres études, on est en mesure de définir quelle fut la dynamique de la végétation au nord et au sud des Alpes.

La carotte LZ04-1 est issue des sédiments du Lauerzersee (Bussmann/Anselmetti 2010). Flavio Anselmetti en a aimablement mis certains segments à notre disposition, afin d'y effectuer des analyses palynologiques. Malgré un volume d'échantillons deux fois plus élevé, les concentrations polliniques étaient faibles et les sommes des pollen donc relativement basses. La série sédimentaire d'environ 10 m de long couvre les derniers 2000 ans et documente entre autres deux éboulements (à une profondeur d'environ 165 cm et 590 cm, fig. 18). L'évènement le plus récent correspond à l'éboulement de Goldau en 1806, permettant donc une datation des sédiments plus récents (Bussmann/Anselmetti 2010 ; Gobet/Tinner 2012).

Les données palynologiques datées au radiocarbone (pollen, spores, charbons de bois et autres vestiges microscopiques) révèlent que les forêts, après une phase d'agriculture intense (jusqu'en 400 apr. J.-C.), ont pu se régénérer et s'étendre (zone LZ-1) entre 500 et 600 apr. J.-C., très vraisemblablement dans la foulée des troubles sociaux et économiques découlant des grandes invasions, qui impliquèrent un recul de l'exploitation. Ce n'est que vers 700 apr. J.-C. que l'intensité de l'exploitation, estimée sur la base de pollen et des spores de plantes cultivées et adventices, atteint à nouveau les valeurs que l'on connaît pour le bas Empire (Tinner et al. 2003 ; 2005 ; 2012). Dès ce moment-là, les résultats de la dendroécologie indiquent des conditions climatiques favorables, avec des températures constamment plus élevées qu'au cours des cinq siècles précédents (chap. 3.1.1 ; Büntgen 2011) – une phase chaude qui se dessine très clairement dans d'autres proxys climatiques encore (p. ex. fluctuations glaciaires, isotopes de l'oxygène : Tinner et al. 2003 ; 2005 ; Tinner 2012). Nos données indiquent qu'une augmentation importante et continue de l'exploitation du territoire, et sans doute une croissance de la densité de population jusqu'à un niveau supérieur à celui de l'époque romaine, n'apparaissent que vers 800 apr. J.-C., soit à l'époque carolingienne.

Les propriétés des sédiments de la brève zone LZ-2 (595–577 cm, 800–830 apr. J.-C.), associées à une forte augmentation des pollen d'arbres, permet d'avancer qu'il s'agit des conséquences d'un éboulement (Bussmann 2006 ; Bussmann/Anselmetti 2010). Les indices évoquant une apogée



18

Pollenprozentdiagramm und Holzkohlekonzentrationen des Lauerzensees. B = Bergsturzereignis von 1806 (andere Bergsturzereignisse s. Spalte «Sediment»); C14: Radiokarbondatierungen; bei 562 cm: 1195 ± 45 BP; bei 800 cm: 1470 ± 55 BP; bei 960 cm: 1910 ± 50 BP; 606 cm: 2195 ± 45 BP. Nur ausgewählte Pflanzentaxa.

Diagramme pollinique en pourcentages et concentrations de charbons de bois dans le lac de Lauerz. B = éboulement de 1806 (autres éboulements voir colonne

« Sédiments »); C14 datations radiocarbone; à 562 cm: 1195 ± 45 BP; à 800 cm: 1470 ± 55 BP; à 960 cm: 1910 ± 50 BP; à 606 cm: 2195 ± 45 BP. Plantes: uniquement taxons végétaux choisis.

Diagramma con la percentuale di polline e concentrazione di carbone di legna nel lago di Lauerz. B = frana del 1806 (altre frane vedi colonna «sedimento»); C14: datazioni radiocarbonio; a cm 562: 1195 ± 45 BP; ai cm 800: 1470 ± 55 BP; a cm 960: 1910 ± 50 BP; cm 606: 2195 ± 45 BP. Solo taxa vegetali scelti.

telland, jedoch überlebte der Baum, wie Funde aus Court-Mévilier [21], Melchnau BE, Grünenberg sowie Pollenprofile z. B. vom Soppensee (LU; Lotter 1999) belegen. Eine ausgeprägte Verbuschung (vor allem mit Hasel), aber kaum eine Erholung des Waldes war mit einem Rückgang der landwirtschaftlichen Tätigkeiten zwischen 1300 und 1400 n. Chr. verbunden. Ein wichtiger Fruchtbaum ab 800 n. Chr. war der Nussbaum. Um 1400 n. Chr. nahm sein Anteil und jener der Haselgebüsche ab, gleichzeitig wurde der Hanfbau intensiviert und die Landwirtschaft florierte wie in der Zeit vor 1300 n. Chr. Der Vergleich der Ergebnisse vom Lauerzensee mit palynologisch hochaufgelösten und sehr gut datierten Sedimentkernen aus tiefen Lagen (300–600 m ü. M.) der Schweiz nördlich und südlich der Alpen (z. B. Soppensee; Lago di Origgio, Tinner 2012) erlaubt eine überregionale Interpretation der Vegetationsdynamik (Lotter 1999; Tinner et al. 1999; van der Knaap et al. 2000). Im Schweizer Mittelland dominier-

de l'agriculture après 800 apr. J.-C. (LZ-3, 830–1530 apr. J.-C.) attestent que la région s'est très rapidement remise de la catastrophe naturelle. Les concentrations maximales de particules microscopiques de charbon de bois dans la section analysée évoquent une augmentation des incendies d'ordre régional dans un rayon de 20–50 km (Tinner et al. 1998; 2000) autour du lac. On utilisait sans doute ce mode de défrichement afin de pratiquer de grandes ouvertures dans les forêts et les landes, de même qu'à des fins agricoles (cultures). L'augmentation marquée de l'exploitation des sols après 800 apr. J.-C. va se poursuivre jusqu'à vers 1100 apr. J.-C. environ, comme l'indiquent les valeurs montantes atteintes par les herbes (plantain lancéolé, herbacées et céréales) dans la zone LZ-3. La culture du chanvre est attestée sur le plan pollinique dès 800 apr. J.-C. environ. Vers 1150 apr. J.-C., les valeurs de pollen d'arbres chutent en dessous de 40%. On peut en déduire que l'ouverture du paysage était similaire à celle des années 1950 apr. J.-C., avant l'expansion de la forêt

ten seit der Bronzezeit und bis um 800 n. Chr. Buchen- und in höheren Lagen Weisstannenwälder bei relativ geringer Veränderung der Waldzusammensetzung. Die Verarmung der Waldvegetation von Mischwäldern zu fast monospezifischen Beständen war die Folge kontinuierlicher Landnutzung (Ammann et al. 1996; Tinner/Ammann 2005; Gobet et al. 2010). Trotz der Unterschiede in der Waldzusammensetzung der tiefen Lagen der Schweiz nördlich und südlich der Alpen lassen sich für das Mittelalter zwei analoge Phasen der Landnutzungsintensivierung erkennen, die sich exemplarisch am Lauerzersee abbilden. Im 8. Jh. weisen die sprunghaft zunehmenden Getreidepollen und der abnehmende Anteil der Baumpollen auf den Beginn einer intensiven Landnutzungsphase hin, im 12. Jh. wurde die Landnutzung nochmals verstärkt (z. B. Tinner 2012; Lotter 1999; Wehrli et al. 2007) und erreichte wie bereits erwähnt neuzeitliche Ausmasse.

3.1.2.2 Höhere Lagen der Schweiz und Waldgrenze

Eine deutliche Öffnung der Wälder und eine Verarmung des Baumartenspektrums setzte in den höheren Lagen der Zentral-, Nord- und Südalpen der Schweiz bereits im Neolithikum oder spätestens ab der Frühbronzezeit ein (Wick/Tinner 1997; Tinner/Theurillat 2003; Wick et al. 2003; Gobet et al. 2003; Tinner/Vescovi 2007; Gobet et al. 2010; Berthel et al. 2012; Rey et al. 2013; Schwörer et al. 2014). Die Weisstanne als wichtiger Baum der subalpinen Stufe der Nordalpen verschwand, wie oben erwähnt, fast völlig (z. B. Sägistalsee, 1935 m ü. M.: Wick et al. 2003). Als Folge anhaltender intensiver menschlicher Nutzung entstand nördlich der Alpen die heutige subalpine Waldvegetation mit fast reinen Fichtenwäldern. Selbst in abgelegenen Gebieten etwa des Juras erfolgte die Intensivierung der Landwirtschaft um 800 n. Chr., was relativ hoch gelegene Umweltarchive wie z. B. der Étang de la Gruère (1005 m ü. M.) und die Tourbière de Genevez (1020 m ü. M.) mit einem Anstieg der Kulturindikatoren (z. B. Spitzwegerich) eindeutig dokumentieren (van der Knaap et al. 2000). Im Wallis wurden die Alpweidegebiete ausgeweitet, was sich in den Pollendiagrammen durch Waldgrenzsenkungen und Weidezeiger ablesen lässt. Durch die Jahrtausendlange Nutzung befand sich die Waldgrenze im Wallis vor 800 n. Chr. auf etwa 2100 m ü. M. – natürlicherweise läge sie auf ca. 2400 m ü. M. (Tinner/Theurillat 2003). Um 800 n. Chr. wurde sie um weitere 100–200 m nach unten verschoben und erreichte nunmehr 1800–1900 m ü. M. Die Gegend um den Simplonpass beispielsweise wurde waldfrei, wie Pollen- und Makrorestuntersuchungen vom Hobschensee zeigen (Lang/Tobolski 1985; van der Knaap et al. 2000). Im Oberengadin setzte um 700 n. Chr. eine analoge Intensivierung der Landwirtschaft ein, die zum Rückgang der Wälder führte. Allerdings hatte hier die Waldöffnung gleichfalls bereits Jahrtausende vorher begonnen. Ab 900 n. Chr. wandelte sich die Vegetationsentwicklung markant, die in der Bronzezeit entstandenen Lärchwiesen wurden teilweise aufgegeben, die Landwirtschaft wurde nochmals intensiviert (Gobet et al. 2004). Für die höheren Lagen

qui caractérise les dernières décennies (zone LZ-4). Le sapin blanc a pratiquement complètement disparu des fonds de vallée du canton de Schwyz vers 1150 apr. J.-C. Cette essence est particulièrement sensible aux nuisances (pacage en forêt, abroussissement, incendies) et, outre l'épicéa, était un bois de construction apprécié, comme l'a révélé l'analyse de maisons médiévales du canton de Schwyz (Descœudres 2007). Dans d'autres régions par contre, l'arbre a survécu, comme l'indiquent les découvertes de Court-Mévilier [21], Melchnau BE, Grünenberg et des relevés polliniques issus du Soppensee (LU ; Lotter 1999).

Entre 1300 et 1400 apr. J.-C., un embroussaillage marqué (surtout du noisetier), accompagné d'une régénération de la forêt presque insensible, coïncide avec une régression des activités agricoles. Dès 800 apr. J.-C., le noyer devient une espèce fruitière importante. Vers 1400 apr. J.-C., son pourcentage et celui du noisetier diminuent, avec en parallèle une intensification de la culture du chanvre ; l'agriculture florissait au même niveau qu'à l'époque antérieure à 1300 apr. J.-C.

La comparaison des résultats fournis par le Lauerzersee avec des carottes sédimentaires à haute résolution palynologique très bien datées provenant de régions situées à des altitudes inférieures (300–600 m) en Suisse, tant au nord qu'au sud des Alpes (p. ex. Soppensee ; Lago di Origlio, Tinner 2012), permet une interprétation de la dynamique de la végétation dépassant le cadre régional (Lotter 1999 ; Tinner et al. 1999 ; van der Knaap et al. 2000). Sur le plateau Suisse, de l'âge du Bronze à environ 800 apr. J.-C., le hêtre domine, avec à une altitude plus élevée des forêts de sapins blanc présentant une modification relativement faible de la composition forestière. L'appauvrissement de la végétation forestière, passant des forêts mixtes à des peuplements pratiquement monospécifiques, découle de l'exploitation continue du paysage (Ammann et al. 1996 ; Tinner/Ammann 2005 ; Gobet et al. 2010). En Suisse, malgré des différences au niveau de la composition forestière à basse altitude on relève pour le Moyen-Âge, tant au nord qu'au sud des Alpes, deux phases analogues issues d'une intensification de l'exploitation du territoire, qui se reflètent de manière exemplaire dans les sédiments du Lauerzersee. Au 8^e siècle, on assiste à une augmentation subite de pollen de céréales et à une diminution de pollen d'arbres, marquant le début d'une phase de recrudescence de l'exploitation du territoire, elle-même suivie au 12^e siècle d'une intensification (p. ex. Tinner 2012 ; Lotter 1999, Wehrli et al. 2007) qui atteindra, comme nous l'avons déjà mentionné, un niveau égal à celui de l'époque moderne.

3.1.2.2 Les régions d'altitude et la limite de la forêt en Suisse en altitude

En Suisse, on assiste dans les régions d'altitude des Alpes centrales, septentrionales et méridionales à une nette ouverture des forêts et à un appauvrissement du spectre des espèces ligneuses dès le Néolithique, ou au plus tard dès le l'âge du Bronze ancien (Wick/Tinner 1997 ; Tinner/Theurillat 2003 ; Wick et al. 2003 ; Gobet et al. 2003 ; Tinner/Vescovi 2007 ; Gobet et al. 2010 ; Berthel et al. 2012 ; Rey et al. 2013 ;

der Südalpen zeichnet sich eine deutliche Zunahme landwirtschaftlicher Aktivität ab ca. 800 n. Chr. ab, die sich zwischen 1100 und 1200 n. Chr. intensiviert (Zoller 1960; Valsecchi et al. 2004).

3.1.2.3 Ein mitteleuropäischer Vergleich

Zeitreihen mit einer Auflösung ähnlich jener des Lauerzersees sind für das Mittelalter sehr selten. Ausserhalb der Schweiz, südlich Hamburg an der Elbe gelegen, bietet das Maujahn Moor auf 33 m ü. M. eine ähnliche Informationsdichte (Beug 2011). Im zeitlich (3–5 Jahre pro Probe, 7 Datierungen zwischen 700 und 1300 n. Chr.) und taxonomisch hochaufgelösten Pollendiagramm zeichnen sich ebenfalls zwei deutliche Landnutzungsintensivierungsschübe ab: der erste setzte um 800 n. Chr. ein und dauerte bis 1200 n. Chr. an. Anschliessend erfolgte der zweite, mit einer dramatisch starken Zunahme der regionalen Landwirtschaft. Ein wichtiges angebautes Getreide war Roggen, gleichzeitig wurden die Wälder stark geöffnet und die Buche zurückgedrängt, vermutlich weil sie die fruchtbarsten Böden besiedelte (Beug 2011). Dieser Befund zeigt vergleichbare Entwicklungen in Norddeutschland und der Schweiz. Die Analogien legen den Schluss nahe, dass neben kulturellen Entwicklungen (z. B. technische, gesellschaftliche, politische Innovationen) das Klima eine entscheidende Rolle bei den Ernteerträgen spielte, was sich wiederum auf die Bevölkerungsdichten in Europa ausgewirkt haben mag. Ein besonders markantes Beispiel dafür – allerdings ausserhalb des hier interessierenden Zeitraums – ist das «Jahr ohne Sommer» (1816), in dem die Mortalität infolge katastrophal schlechter Ernten bis auf 200% des sonstigen Masses anstieg (Maise 1998; Pfister 1985). Für die tiefen Lagen der Schweiz wie für grosse Gebiete Europas scheint also die Intensivierung landwirtschaftlicher Tätigkeit in Schritten um 800 und 1200 n. Chr. typisch zu sein. Nachdem die Wälder zwischen 500 und 700 n. Chr. als Folge des Nutzungsrückgangs (Zusammenbruch des Weströmischen Reiches) ziemlich geschlossen waren, kam es zwischen 700 und 800 n. Chr. zu einer Öffnung und zu einem Ausbau der Landwirtschaft mit Getreideanbau; vor allem der Roggenanbau nahm zu, in der Schweiz begann ausserdem vielerorts der Hanfanbau. Aber auch Fruchtbäume wurden vermehrt kultiviert (z. B. Nussbaum; s. auch Lago del Segrino, Norditalien, Gobet et al. 2000). Die landwirtschaftliche Tätigkeit wurde zwischen 1100 und 1200 n. Chr. nochmals deutlich intensiviert und die Wälder noch stärker zurückgedrängt, einzelne Waldbäume (z. B. die Weisstanne um den Lauerzersee) starben lokal nördlich der Alpen praktisch aus, da sie als Bauhölzer begehrt waren und vermutlich zudem unter Verbiss auf Grund der zunehmenden Waldweide litten (Gobet/Tinner 2012). Gleichzeitig wurden die höheren Lagen der Schweiz intensiver genutzt, wie sich an der Waldgrenze mit einer Ausdehnung der Alpweideflächen um ca. 800 n. Chr. in mittleren Lagen, z. B. im Jura, durch intensivierte Viehzucht zeigt, eine Entwicklung, die sich bis in die frühe Neuzeit fortsetzte.

Schwörer et al. 2014). Le sapin blanc, espèce importante de la zone subalpine du nord des Alpes, disparaît pratiquement complètement, comme nous l'avons dit plus haut (p. ex. Sägstalsee, 1935 m d'altitude : Wick et al. 2003). Suite à la longue et intense exploitation humaine, la végétation forestière subalpine que l'on connaît actuellement au nord des Alpes s'est mise en place, avec des forêts ne comptant pratiquement que des épicéas. Même dans les régions reculées du Jura, l'intensification de l'agriculture s'établit vers 800 apr. J.-C., phénomène parfaitement documenté par les archives environnementales, par exemple celles de l'Étang de la Gruère (1005 m d'altitude) et de la tourbière de Genevez (1020 m d'altitude), entre autres avec une augmentation des indicateurs de cultures (p. ex. le plantain ; van der Knaap et al. 2000). En Valais, on assiste à une extension des pâturages alpins, visible à travers les diagrammes polliniques qui révèlent des variations des limites de la forêt et des indicateurs de pâturages. En Valais, une exploitation millénaire a fait reculer la limite supérieure de la forêt avant 800 apr. J.-C. à une altitude d'environ 2100 m, alors que la limite naturelle se situerait à 2400 m environ (Tinner/Theurillat 2003). Vers 800 apr. J.-C., on assiste à un nouveau recul de 100–200 m, atteignant dès lors 1800–1900 m d'altitude. Dans la région du col du Simplon, la forêt avait disparu, comme l'indiquent les analyses palynologiques et celles des macrorestes issus du Hobschensee (Lang/Tobolski 1985 ; van der Knaap et al. 2000).

En Haute Engadine, vers 700 apr. J.-C., débute une intensification analogue de l'agriculture, débouchant sur un recul des forêts. Cependant, l'ouverture forestière avait ici aussi débuté des millénaires auparavant. Dès 900 apr. J.-C., l'évolution de la végétation connaît des modifications marquantes, les prés-bois à mélèzes, dont les origines remontent à l'âge du Bronze, sont partiellement abandonnés, avec une nouvelle recrudescence de l'agriculture (Gobet et al. 2004). Dans les régions d'altitude du sud des Alpes, on assiste aussi à une nette augmentation des activités agricoles dès environ 800 apr. J.-C., avec une intensification entre 1100 et 1200 apr. J.-C. (Zoller 1960 ; Valsecchi et al. 2004).

3.1.2.3 Comparaison à l'échelle de l'Europe centrale

Pour le Moyen-Âge, on ne dispose que très rarement de séries chronologiques, présentant une résolution semblable à celle du Lauerzersee. Hors des frontières suisses, au sud de Hambourg, le marais de Maujahn, situé à 33 m d'altitude sur le cours de l'Elbe, offre une densité d'informations comparable (Beug 2011). Dans ce diagramme pollinique à haute résolution tant chronologique (3–5 ans par échantillon, 7 datations entre 700 et 1300 apr. J.-C.) que taxonomique, on découvre également deux poussées d'intensification de l'exploitation du territoire : la première débute vers 800 apr. J.-C. pour durer jusque vers 1200 apr. J.-C. Lors de la seconde intervient une augmentation extrêmement importante de l'agriculture régionale. On cultivait surtout du seigle, avec simultanément un important recul des forêts, surtout du hê-

tre, sans doute installé sur les sols les plus fertiles (Beug 2011). La situation du nord de l'Allemagne est donc comparable à celle de la Suisse. Ces analogies permettent d'avancer que le climat jouait un rôle essentiel dans l'amélioration des récoltes, influençant par là la densité de population en Europe, et que cette dernière ne relève pas uniquement de l'évolution culturelle (p. ex. innovations techniques, sociales et politiques). En dehors de l'époque qui nous intéresse ici, on citera un exemple marquant pour ce type d'influence, l'« année sans été » (1816), au cours de laquelle le taux de mortalité atteignit un niveau de 200% supérieur à la normale, suite à des récoltes catastrophiques (Maise 1998 ; Pfister 1985). En Suisse et pour de grandes surfaces de l'Europe, dans les régions de basse altitude, l'intensification par étapes de l'agriculture vers 800 et 1200 apr. J.-C. semble être caractéristique. Après une avancée des forêts entre 500 et 700 apr. J.-C., découlant d'un recul de l'exploitation (chute de l'Empire romain d'Occident), on assiste en effet entre 700 et 800 apr. J.-C. à une ouverture du couvert forestier et à une extension de l'agriculture, plus particulièrement de celle des céréales, en particulier du seigle. En Suisse, ce moment coïncide par ailleurs avec le début en plusieurs endroits de la culture du chanvre. On plante davantage d'arbres fruitiers (p. ex. le noyer ; voir aussi Lago del Segrino, Italie du Nord, Gobet et al. 2000). Entre 1100 et 1200 apr. J.-C., on assiste une fois encore à une nette intensification de l'agriculture, associée à un important recul du couvert forestier et à la disparition locale de certaines essences (p. ex. du sapin blanc sur les rives du Lauerzersee) au nord des Alpes : elles étaient particulièrement appréciées comme bois de construction, et furent sans doute aussi victimes de l'abrutissement provoqué par une augmentation de la pratique du pacage en forêt (Gobet/Tinner 2012). Parallèlement, en Suisse, dans les régions de plus haute altitude, l'exploitation s'intensifie, se traduisant par un recul de la limite supérieure de la forêt, elle-même liée à une extension des pâturages alpins vers env. 800 apr. J.-C. ; dans les zones d'altitude moyenne, par exemple dans le Jura, on décèle pour la même époque une intensification de la pratique de l'élevage, qui se poursuivra jusqu'à l'époque moderne.

Traduction Catherine Leuzinger-Piccand